

Sieht der Gartenbau zukünftig rot? – Über die Verwendung von LED-Lampen zur Assimilationsbelichtung bei Topfkräutern

- Vortragsunterlage von Helmut Müller anlässlich der Kasseler Gartenbautage am 11.01.12 in Baunatal -

1. Reaktionen der Pflanzen auf LED-Licht

- Unter LED-Lampen können bei Topfbasilikum und Topfpetersilie vergleichbare Pflanzenqualitäten wie unter Natriumhochdruckdampflampen erzeugt werden
- Merkmale der Pflanzen, die unter LED-Lampen kultiviert wurden, im Vergleich zu denen unter Natriumhochdruckdampflampen:
 - Grünfärbung ist intensiver
 - Aufbau ist kompakter und die Frisch- und Trockenmasse ist etwas höher (bei Basilikum)
 - Wachstum ist z.T. deutlich höher (bei Petersilie)
 - die Blätter sind intensiver ger Kräuselt (bei Petersilie)
- Unterschiedliche Reaktion der Pflanzenarten und –sorten auf gleiches (LED)-Licht
- Unterschiedliche Reaktion einer Sorte auf unterschiedliche LED-Varianten

2. Eigenschaften von LED-Lampen

2.1. Einfarbiges (monochromatisches) Licht

- Lichtfarbe ist abhängig von der Art der Kristalle im LED-Chip
- LED-Leuchten bestehen aus einer Vielzahl von Dioden
- Orientierung am Absorptionsspektrum des Chlorophylls (wo Fotosynthese stattfindet): blaues und rotes Licht werden besonders stark verwertet
- Zusätzlicher Effekt: Einfluss der Lichtes auf Habitus (Fotomorphogenese)
 - UV-Strahlung und blaues Licht → kompakterer Wuchs
 - dunkelrotes Licht und IR-Strahlung → verstärktes Streckungswachstum („Vergeilen“)
- Je nach Lampentyp unterschiedliches (fixes) Verhältnis Blau : Rot (1:4 - 1:20)
- Zusatz weiterer Lichtfarben (z.B. grün, aber auch dunkelrot) wirkt ertragssteigernd
- Genaue Wirkung einzelner Wellenlängen auf Pflanzenwachstum relativ unbekannt

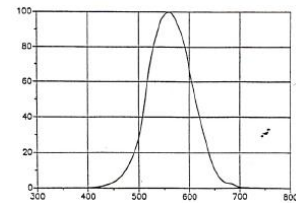
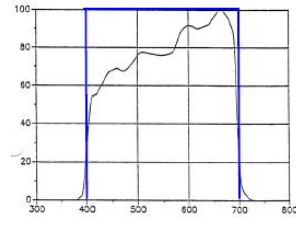
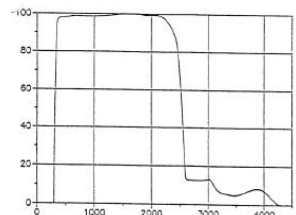
| Wellenlänge (nm) | Farbe/Bezeichnung ²⁾ |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 300 – 400 | UV, violett |
| 400 – 500 | blau |
| 500 – 600 | gelb, grün |
| 600 – 700 | rot |
| 700 – 780 (- 850) ¹⁾ | dunkelrot (DR oder Far-red) |
| 780 (850) – 2500 | Infrarot (IR) |
| > 2500 | Wärmestrahlung |

¹⁾ Grenze ist in der Literatur nicht eindeutig definiert

²⁾ Wirkung einzelner Lichtfarben ist stark abhängig von anderen Einflussfaktoren wie Lichtintensität, Vorhandensein anderer Wellenlängen (auch UV- und IR-Strahlung), Blattemperatur, Jahreszeit (Lichtsättigungspunkt ist im Winter niedriger als im Sommer) u.a

2.2. „Dunkles“ Licht:

Rotes und blaues Licht wird vom Menschen als dunkel empfunden, von den Pflanzen hingegen als „hell“. Welche Messgeräte spiegeln diese unterschiedlichen „Sichtweisen“ wider?

| Messgerät | Relative spektrale Empfindlichkeit | Erläuterung | Maßeinheit | Messung |
|---|--|--|--|---|
| Luxmeter (Photometer) |  | Menschliches Auge: gelb-grünes Licht wird als 10 x heller empfunden als rotes Licht. | kLux | Beleuchtungsstärke |
| PAR-Messgerät ²⁾ (photosynthetically active radiation) |  | Photosynthese Das Gerät „sieht“ wie die Pflanzen. Strahlung zwischen 400 – 700 nm wird gleich bewertet. | $\mu\text{mol} / \text{m}^2, \text{s}$ | Photonenstromdichte (Messung der Menge der Lichtteilchen, die auf die Pflanzen auftreffen) |
| Solarimeter |  | keine | W / m^2 | Energie (der Globalstrahlung) |

¹⁾ Abbildungen: KTBL-Arbeitsblatt 0658

²⁾ Keine Erfassung von UV-A- und DR-Strahlung

Umrechnungsfaktoren für die Messwerte (gelten nur für natürliches Tageslicht)

| aus | in:→ | kLux | $\mu\text{mol} /$ | W/m^2 PAR | W/m^2 |
|--|------|-------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| kLux | | 1 | 18 | 4,0 | 8,0 |
| $\mu\text{mol} / \text{m}^2, \text{s}$ | | 0,056 | 1 | 0,22 | 0,43 |
| W/m^2 PAR | | 0,26 | 4,6 | 1 | 2 |
| W/m^2 | | 0,13 | 2,3 | 0,5 | 1 |

Eingestellte Photonenbestrahlungsstärke bei unseren Versuchen: $40 \mu\text{mol} / \text{m}^2, \text{s}$
Bei SON-T-Lampen gilt: $3500 \text{ lux} = 40 \mu\text{mol} / \text{m}^2, \text{s}$

2.3. Punktförmiges Licht

- LED-Lampen erzeugen punktförmiges Licht
- Lichtintensität nimmt zu den Rändern der ausgeleuchteten Fläche hin stark ab
- Ausgleich durch:
 - Anordnung der Lampen (Lichtverteilungsplan)
 - Bauform: LED-Layer, LED-Stripes, LED-Netze (Problem: Schattenwurf, Aufhängung)
 - Spezielle Linsen

2.4. „Kaltes“ gekühltes Licht

Dieser Widerspruch klärt sich auf, wenn man bedenkt:

- Wirkungsgrad ähnlich hoch wie bei SON-T-Lampen (ca. 30 %), d.h. außer Licht entsteht Wärme
- Wärme wird nicht wie bei SON-T-Lampen abgestrahlt (→ macht Anordnung der Lampen direkt über dem Pflanzenbestand möglich), aber:
- die in den LED-Chips entstehende Wärme muss abgeführt werden durch
 - aktive Kühlung, mit Hilfe von Luft (Ventilatoren) oder Wasser
 - passive Kühlung (durch große Wärme abgebende Oberfläche und gut Wärme leitendes Material)
- Wirkungsgradsteigerungen erscheinen sehr realistisch

3. Energetische und betriebswirtschaftliche Aspekte der LED-Lampensysteme

- Unterschiedlich hoher Energiebedarf der einzelnen Lampensysteme
- Lichtausbeute ist abhängig von Stromstärke und Temperatur in den Chips
- auf optimale Anordnung der Lampen ist zu achten
- zwar noch sehr hohe Anschaffungspreise, aber lange Nutzungsdauer → Ausgleich
- Energieeinsparung grundsätzlich möglich durch
 - geringeren Energieverbrauch, auch durch Optimierung des Gesamtsystems
 - Kulturzeitverkürzung durch erhöhtes Wachstum
- Optimierung des Gesamtsystems

- Kulturführung:

- Anpassung der Temperatur (Sollwert)
- Anpassung der Nährlösungskonzentration aufgrund geringerer Verdunstung
- Anpassung Pflanzenschutzstrategien

- Klimacomputer-Regelstrategien.

Zu verändernde Parameter

- Lichtstärke, auch in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanze
- Sollwerte bei Außenbeleuchtungsstärke abhängiger Regelung
(LED-Lampen sind unempfindlich gegenüber häufigem Ein- und Ausschalten)
- Belichtungsdauer (8, 12, 16, 24 Stunden)
- Belichtungszeitpunkt (Tag / Nacht)
- Belichtungsdauer gemäß Einstrahlungssumme der natürlichen Strahlung:
Auffüllen auf Lichtsummensollwert ($\text{mol} / \text{m}^2, \text{Tag}$) durch Zusatzlicht
(Lichtmengenkonzept); setzt Erstellung entsprechender
Lichtsummensollwerte voraus